ZASTOSOWANIE ROZMYTYCH MAP KOGNITYWNYCH W PLANOWANIU ROZWOJU ZORIENTOWANEJ NA USŁUGI ARCHITEKTURY SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH

Andrzej Sobczak
Katedra Informatyki Gospodarczej
Szkoła Główna Handlowa w Warszawie

1. Wprowadzenie do problematyki planowania rozwoju zorientowanej na usługi architektury systemów informatycznych

W ciągu ostatnich kilku lat w organizacjach gospodarczych gwałtownie wzrosła liczba eksploatowanych systemów informatycznych. Niejednokrotnie systemy te budowane były jako zupełnie niezależne silosy, co skutkuje m. in. niemożnością płynnego dokonywania zmian w istniejących rozwiązaniach – każda zmiana musi być wprowadzana w wielu miejscach, co wymaga pracochłonnej koordynacji działań i jest bardzo kosztowne ze względu na zaangażowanie dużych zasobów ludzkich i finansowych.

W celu likwidacji istniejących trudności, wynikających z posiadania przez organizacje rozwiązań typu „silosowego", coraz częściej podejmuje się działania mające na celu upowszechnienie alternatywnego podejścia, bazującego na zorientowanej na usługi architekturze systemów informatycznych (ang. Service Oriented Architecture – SOA). W architekturze zorientowanej na usługi zamiast dużych (często monolitycznych) aplikacji występuje zbiór specjalistycznych, rozproszonych usług, z których część może być chroniona, reszta zaś udostępniona określonym użytkownikom zgodnie z ich uprawnieniami – wewnątrz lub na zewnątrz organizacji. Jest to szczególnie istotne w chwili obecnej, kiedy to coraz częściej nie można jednoznacznie wskazać na ścisłe granice poszczególnych systemów informatycznych – zarówno wewnątrz dużych organizacji, jak i na poziomie kooperantów czy też klientów [9].

Podejście to zapewnia m. in.:

- znacznie bardziej efektywny przepływ informacji między poszczególnymi systemami;
- znacznie lepsze i efektywniejsze koordynowanie – z perspektywy działań długoterminowych – modyfikacji i rozbudowy poszczególnych systemów informatycznych;
- znacznie lepsze współdziałanie różnych technologii, pochodzących od różnych dostawców.

Jednocześnie architektura systemów informatycznych jest jednym z najtrudniej modyfikowalnych elementów systemu – stanowi niejako punkt odniesienia, wedle którego każdy komponent systemu powinien być budowany, gwarantując tym samym realizację podstawowych celów biznesowych oraz strategicznych organizacji. Dlatego też wszystkie nowoczesne metodyki wytwarzania oprogramowania postulują zaplanowanie rozwoju architektury całego systemu na początku realizacji projektu.

Na potrzeby niniejszej pracy **planowanie rozwoju zorientowanej na usługi architektury systemów informatycznych zdefiniowane jest jako: proces, którego celem jest określenie zrębów systemu – tj. głównych usług, które będą świadczone przez system i zależności między nimi – przy jednoczesnym uwzględnieniu celów, które ma realizować dany system, oraz istniejących uwarunkowań zewnętrznych.**

Bardzo często okazuje się jednak, że implementacja rozwiązań, które nie są zgodne z docelową architekturą, jest w krótkim okresie dużo prostsza. Jednak podejście polegające na budowie systemów ad hoc bez zaplanowania architektury grozi w najlepszym wypadku koniecznością przeprowadzenia bardzo istotnych zmian w już dostarczonych rozwiązaniach, w najgorszym zaś razie prowadzi do konieczności wymiany zdecydowanej większości infrastruktury informatycznej funkcjonującej w organizacji.

Zaplanowanie architektury systemu nie jest działaniem prostym. Jak piszą Clements, Kazman oraz Klein w [5]: „Architektura złożonego oprogramowania lub systemów stanowi całą serię trudnych decyzji, których zmiana jest bardzo kosztowna. Sukces procesu rozwoju i ewolucji produktu jest uzależniony od dokonywania prawidłowych wyborów związanych z konstrukcją architektury".

Powyższa analiza skłania do konkluzji, że niezbędne są prace badawcze z zakresu systematycznego planowania rozwoju zorientowane na usługi architektury systemów informatycznych dla jednostek administracji publicznej. W tym celu wykorzystano rozmyte mapy kognitywne, które stanowią bardzo efektywne narzędzie do modelowania złożonych struktur ([14], [15], [16]), a niewątpliwie taką jest zorientowana na usługi architektura systemów informatycznych.

2. Wprowadzenie do problematyki map kognitywnych

Mapa kognitywna (ang. Cognitive Maps – CM) jest graficzną reprezentacją zależności (związków) przyczynowych występujących pomiędzy czynnikami, które opisują dany problem. Mapa składa się z węzłów, oznaczonych strzałek kierunkowych (ang. signed directed arrows) i współczynników przyczynowości. Węzły reprezentują czynniki, a oznaczone strzałki kierunkowe – zależności przyczynowe pomiędzy czynnikami (przy czym pojedyncza strzałka kierunkowa dotyczy zawsze dwóch czynników) [1].

Technika map kognitywnych ma swe korzenie w różnych dziedzinach wiedzy i posługuje się elementami psychologii, wnioskowania przyczynowego, teorii grafów oraz teorii wspomagania decyzji. Określenie „mapa kognitywna" pochodzi od mentalnej mapy, którą tworzą w swojej głowie szczury wpuszczone do labiryntu w trakcie eksperymentu [2].

Axelord był pierwszym, który zastosował mapy kognitywne jako formalny sposób reprezentacji wiedzy i narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji w systemach społecznych i politycznych. Użył on ich w celu analizowania decyzji podjętych przez British Eastern Committee na podstawie pisemnych raportów z roku 1918 [2].

Axelord i kolejni badacze stwierdzili, że mapy kognitywne są szczególnie użyteczne w rozwiązywaniu problemów, dla których występuje wiele czynników (zmiennych decyzyjnych) i zmienne niekontrolowalne są zależne przyczynowo od siebie. Mapy kognitywne mogą pomóc decydentom w analizowaniu ukrytych zależności przyczynowych, co może przyczynić się do identyfikacji niejawnych wprost, ale istotnych rozwiązań.

Przy konstruowaniu map kognitywnych następuje badanie, czy i w jaki sposób jeden czynnik ma wpływ na drugi. Dodatnie połączenia przyczynowe powinny być uważane za zależności wzbudzające, a ujemne połączenia przyczynowe – za zależności inhibicyjne między węzłami. Współczynnik przyczynowości oznaczany jest najczęściej za pomocą symboli „+" i „-". Wystarcza on do odwzorowania toku myślenia człowieka, ponieważ ludzie nie stosują zazwyczaj bardziej skomplikowanego zestawu zależności [10].

Jeżeli pobudzane są określone węzły mapy kognitywnej, wynikłe wzbudzenie może rezonować w innych węzłach aż do osiągnięcia równowagi. Węzły transmitują to wzbudzenie do innych węzłów na mapie za pomocą ważonych (dodatnio lub ujemnie) połączeń przyczynowych. Z kolei wzbudzenie każdego węzła odbiorczego (ang. recipient node) wzrasta lub maleje i jest transmitowane dalej, do następnych obszarów mapy [10].

Jeżeli zależność między czynnikami jest dodatnia, wtedy wzrost lub spadek zmiennej przyczynowej powoduje zmianę zmiennej (zmiennych) wynikowej w tym samym kierunku (tj. wzrost lub obniżenie). Jeżeli zależność między

czynnikami jest ujemna, wtedy zmiana, jakiej ulega zmienna wynikowa, odbywa się w kierunku przeciwnym [10].

Droga między dwoma czynnikami X i Y na mapie kognitywnej jest ciągiem wszystkich węzłów połączonych strzałką od pierwszego węzła X do ostatniego węzła Y. Istnieją dwie zasady określania kierunku efektu wywołanego przez zmiany zmiennych przyczynowych [11]:

- Pośredni efekt od zmiennej przyczynowej X do zmiennej wynikowej Y, I(x, y), jest dodatni, jeżeli ścieżka ma parzystą liczbę ujemnych strzałek, i jest ujemny, jeżeli ma ona nieparzystą ilość ujemnych strzałek.
- Całkowity efekt wywołany przez zmienną przyczynową X na zmiennej wynikowej Y jest oznaczany jako T(x, y) i jest sumą wszystkich pośrednich efektów od zmiennej przyczynowej X do zmiennej wynikowej Y.

Występują trzy poziomy szczegółowości reprezentacji map kognitywnych [11]:

- Mapy, w których do każdej zależności przyczynowej przyporządkowany jest znak, modelujący w ten sposób tylko kierunek zmiany.
- Mapy, w których znaki zastępuje się dodatnimi lub ujemnymi liczbami pokazującymi nie tylko kierunek, ale także wielkość zmiany. Są to tzw. ważone mapy kognitywne.
- Mapy, w których określona funkcja jest przyporządkowywana każdej przyczynowej zależności, aby dokładniej przestawić kierunek i wielkość zmiany.

3. Charakterystyka rozmytych map kognitywnych

Kosko udoskonalił mapy kognitywne, rozpatrując dla nich wartości rozmyte. Rozmyta mapa kognitywna (FCM – Fuzzy Cognitive Map) jest modelem reprezentowanym w formie graficznej, składającym się z węzłów oznaczających najistotniejsze czynniki (jednostki, zmienne lub cechy) rozważanego fragmentu rzeczywistości i połączeń między tymi węzłami, oznaczających zależności między tymi czynnikami. Przy czym „rozmytość" oznacza, że FCM często składają się z pojęć, które można przedstawić jako zbiory rozmyte, a przyczynowe zależności między pojęciami mogą być rozmytymi implikacjami, warunkowymi prawdopodobieństwami etc. [1]. Powoduje to, że rozmyte mapy kognitywne reprezentują modelowany fragment rzeczywistości w formie, która dobrze odpowiada sposobowi, w jaki spostrzegają go ludzie.

Stosowanie rozmytych map kognitywnych pozwala uniknąć wielu problemów związanych ze zdobywaniem wiedzy, które zazwyczaj powstają w przypadku systemów opartych na regułach (ang. rule based systems), czy też systemach eksperckich, dla których budowane jest drzewo decyzji (ang. decision tree). Ponadto ta ostatnia forma prezentacji wiedzy stwarza problemy takie, jak niemożliwość posiadania przez duże drzewo zachowań dynamicznych czy też działania w czasie rzeczywistym [1].

Jednocześnie w [4] Carvalho argumentuje, że rozmyte mapy kognitywne nie są „rozmyte" w tradycyjnym sensie, ponieważ nie posługują się jakimkolwiek rodzajem funkcji rozmytej. Jego zdaniem są „trenowanymi przez człowieka sieciami neuronowymi", które nie zachowują w pamięci tradycyjnych sposobów rozumowania za pomocą rozumowania lingwistycznego. Dlatego przyjmuje się, że rozmyte mapy kognitywne funkcjonują jak asocjacyjne sieci neuronowe. Mapa taka opisuje modelowany fragment rzeczywistości za pomocą sieci jednowarstwowej, która jest stosowana w trybie nienadzorowanym (ang. unsupervised mode) i której neuronom są przydzielane znaczenia pojęciowe, a wagi połączeń reprezentują zależności między tymi pojęciami [1].

Od strony modelu matematycznego rozmyta mapa kognitywna jest rozmytym grafem skierowanym ze sprzężeniem zwrotnym, modelującym fragment rzeczywistości jako zbiór czynników i związków przyczynowych między tymi czynnikami. Czynniki te są przedstawiane jako wierzchołki w grafie skierowanym. Krawędzie grafu odpowiadają wpływom przyczynowym pomiędzy analizowanymi czynnikami. Wartość wierzchołka odzwierciedla stopień, w jakim czynnik ten jest aktywny w danym momencie czasu. Wartość ta jest funkcją sumy iloczynów wszystkich krawędzi dochodzących do wierzchołka i wartość rozpoczynającego czynnika w bezpośrednio poprzednim stanie. Funkcja progowa zastosowana do sum ważonych może mieć charakter rozmyty. Ponadto wartości czynników są wyrażane w znormalizowanej skali oznaczającej stopień aktywacji, a nie przedstawiają dokładnej wartości kwantytatywnej [1].

Funkcja progowa służy do redukowania niezwiązanych elementów wejściowych do ściśle określonego zakresu. Powoduje to odejście od uzyskania możliwości wyników ilościowych, ale daje podstawę do porównywania węzłów – włączone lub wyłączone, aktywne lub nieaktywne. Mapowanie to jest odmianą procesu „rozmywania" w logice rozmytej. Rozmywanie pozwala uzyskać model jakościowy i uwalnia od dokładnej kwantyfikacji wag krawędzi. Zależności przyczynowe są wyrażane przez dodatnie lub ujemne znaki i różne wagi [1].

Rozmytą mapę kognitywną zawierającą n czynników przedstawić można jako n-elementowy wektor stanu A, który zawiera wartości n czynników, i przez ważoną macierz E o wymiarze n x n. Każdy element E_{ij} macierzy E oznacza wartość wagi między czynnikami C_i i C_j. W prostych mapach kognitywnych wagi (kierunkowe wpływy) przyjmują trójwartościowe wartości -1; 0; +1, gdzie -1 oznacza zależność ujemną, 0 brak zależności przyczynowej, a +1 zależność dodatnią. Na ogół elementy macierzy E, tj. E_{ij} mogą przyjmować wartości w rozmytym przedziale przyczynowym [-1; 1], pozwalając na przedstawianie stopni przyczynowości. Przy czym, gdy $E_{ij} > 0$, oznacza bezpośrednią (dodatnią) przyczynowość między pojęciami C_i i C_j. Znaczy to, że wzrost (spadek) wartości C_i prowadzi do wzrostu (spadku) wartości C_j. Natomiast $E_{ij} < 0$ oznacza odwrotną (ujemną) przyczynowość między pojęciami C_i i C_j. W tym przypadku wzrost

(spadek) wartości C_i prowadzi do spadku (wzrostu) wartości C_j. Gdy $E_{ij} = 0$, oznacza to brak zależności między C_i a C_j [1].

Poziom aktywacji A_i dla każdego czynnika C_i jest obliczany według następującej reguły [1]:

$$A_i^{new} = f\left(\sum_{j=1}^{n} A_j^{new} E_{ji}\right) + A_i^{old}$$

Nowa wartość A_i^{new} jest poziomem aktywacji pojęcia C_i w czasie t + 1, a stara wartość A_i^{old} jest poziomem aktywacji pojęcia C_j w czasie t, natomiast f jest funkcją progową.

4. Zastosowanie rozmytych map kognitywnych w zarządzaniu

Rozmyte mapy kognitywne stanowią istotne ulepszenie w stosunku do map kognitywnych [2]:

- Krawędzie między węzłami mogą przyjmować wartości liczbowe wyrażające stopnie przyczynowości.
- Rozmyte mapy kognitywne mogą modelować fragmenty rzeczywistości, które są dynamicznymi systemami rozwijającymi się w czasie poprzez sprzężenie zwrotne. Skutek zmiany w węźle pojęciowym wpływa na inne węzły, które z kolei mogą wpływać na węzeł inicjujący zmianę itd. Pod tym względem rozmyte mapy kognitywne mogą być uważane za odmianę rekurencyjnych sieci neuronowych.
- Baza wiedzy przechowywana za pomocą rozmytych map kognitywnych może być rozszerzona przez połączenie wielu map przy użyciu tzw. zasad rozmytego związku (ang. rules of fuzzy union).
- Rozmyte mapy kognitywne są adaptacyjne, tj. siły połączeń przyczynowych (ustalone pierwotnie przez ludzi – ekspertów) mogą być dokładnie dostrojone za pomocą różnych technik nauczania (ang. learning).

Z tego też powodu rozmyte mapy kognitywne stają się coraz popularniejszą techniką modelowania i symulacji stosowaną w wielu dziedzinach badań i aplikacji. Są one użyteczne w naukach administracyjnych, teorii gier, analizie informacji, we współpracy człowiek-maszyny, w rozproszonych systemach wspomagania decyzji grupowych. Ponadto trwają prace związane z wykorzystywaniem FCM do modeli o dużym poziomie niepewności. W tym celu łączy się logikę rozmytą, sieci neuronowe i modelowanie statystyczne. FCM stosowane są tutaj w procesie nabywania wiedzy dziedzinowej i podczas procesu wnioskowania.

Kardaras i Mentzas w [7] proponują zastosowanie rozmytych map kognitywnych do modelowania i analizowania wskaźników wydajności gospodarczej (ang. business performance indicators).

W [3] Carlsson i Fuller wykazali, że wszystkie konstrukcje pojęciowe teorii zarządzania strategicznego mogą być przedstawione za pomocą hipertekstowego systemu z bazą wiedzy. Autorzy wykazują, że rozmyte mapy kognitywne mogą być stosowane do uogólniania doświadczeń użytkowników w takim systemie. Poza tym wykazują, że efektywność i użyteczność takiego systemu może być znacznie większa dzięki zastosowaniu adaptacyjnych rozmytych map kognitywnych.

Praca [6] pokazuje, jak standardowe operacje w systemach klasy GIS (ang. Geographic Information System – wspomagające często działalność organizacji wymagających informacji przestrzennych), część operacji na mapach, można uczynić bardziej elastycznymi dzięki zastosowaniu teorii zbiorów rozmytych. W szczególności prezentowane są różne algorytmy operacji wykorzystywane z zastosowaniem FCM.

Praca [8] opisuje zastosowanie FCM do analizowania procesu budowy migracji danych w banku podczas budowy hurtowni danych. Uzyskane wyniki analizy są przedstawione i porównane z odpowiednimi wynikami uzyskanymi za pomocą podejścia bazującego na modelowaniu systemów dynamicznych.

5. Planowanie zorientowanej na usługi architektury systemów informatycznych z zastosowaniem rozmytych map kognitywnych

Zaproponowane przez autora podejście[1] do planowania rozwoju zorientowanej na usługi architektury systemów informatycznych z zastosowaniem rozmytych map kognitywnych wykorzystuje cztery macierze do reprezentacji wyników cząstkowych i końcowych:

- Bazowa Macierz Czynników (BMC),
- Rozmyta Macierz Czynników (RMC),
- Macierz Siły Zależności Czynników (MSZC),
- Finalna Macierz Czynników (FMC).

Podejście to bazuje na danych zebranych w czasie prowadzenia prac studyjnych oraz wywiadów z ekspertami dziedzinowymi, których wiedza i doświadczenie pozwalają na rozpoznanie i ocenę czynników, mających kluczowe znaczenie przy planowaniu rozwoju zorientowanej na usługi architektury budowanego systemu informatycznego.

Dane pozyskane podczas wywiadów są następnie transformowane na wektory liczbowe związane z odpowiednimi czynnikami. Każdy składnik w wektorze reprezentuje wartość, jaką ma odpowiedni czynnik dla każdego eksperta dziedzinowego. W ten sposób powstaje Bazowa Macierz Czynników (BMC).

[1] Podejście to zostało pierwotnie zaprezentowane przez Rodrigueza-Repisa, Setchi'ego, Salmerona, którzy wykorzystywali je do oceny powodzenia projektów informatycznych [11].

W BMC stosuje się progi, aby przystosować zawartą tam informację do realnego świata, zachowując logiczną integralność danych. Następnie numeryczne wektory związane z każdym z czynników są poddawane procesowi fuzyfikacji i traktowane jako zbiory rozmyte.

Fuzyfikacja BMC daje w efekcie Rozmytą Macierz Czynników (RMC), zawierającą stopnie członkostwa każdego czynnika w zbiorze rozmytym. Czynniki te są traktowane jako zmienne. Stopień podobieństwa między dowolnymi dwiema zmiennymi jest oceniany w celu określenia siły zależności między nimi i biegunowości tej zależności. Siła zależności jest wyrażana przez rozmytą wagę poprzedzoną dodatnim lub ujemnym znakiem, wskazującym, czy zależność jest prosta, czy odwrotna.

Wynikiem tych obliczeń jest nowa macierz zwana Macierzą Siły Zależności Czynników (MSZC). W tym punkcie ekspert decyduje, czy między elementami każdej analizowanej pary zmiennych występuje zależność przyczynowa, czy nie. Wynikiem tych prac jest Finalna Macierz Czynników (FMC), która zawiera tylko te rozmyte składowe numeryczne, które reprezentują zależności przyczynowe między czynnikami mającymi wpływ na planowanie architektury zorientowanej na usługi. Graficzna reprezentacja FMC daje docelową FCM.

6. Weryfikacja techniki planowania rozwoju zorientowanej na usługi architektury systemów informatycznych z zastosowaniem rozmytych map kognitywnych na przykładzie systemu e-PUMA

Szczegółowy opis techniki planowania rozwoju zorientowanej na usługi architektury systemów informatycznych z zastosowaniem rozmytych map kognitywnych znajduje się w [13]. Weryfikacja zaproponowanego podejścia została przeprowadzona na przykładzie systemu e-PUMA, zdefiniowanego jako „system informatyczny zapewniający pracownikom urzędu miasta i podmiotów zależnych od miasta oraz ich klientom (obywatelom/ firmom/NGO) łatwy w obsłudze i efektywny punkt dostępu do zgromadzonych zasobów informacyjnych oraz elektronicznych usług publicznych" [12].

7. Podsumowanie

W chwili obecnej nikt już nie podważa znaczenia architektury zorientowanej na usługi jako metody zwiększania efektywności działania organizacji gospodarczych. Jednocześnie nie ma jeszcze rozpowszechnionych metodyk dedykowanych temu podejściu – zwłaszcza w zakresie prac planistyczno-analitycznych.

Zdecydowanie bardziej rozwinięte są prace w warstwie technologicznej (zarówno od strony metodycznej, jak i wsparcia przez narzędzia informatyczne).

Po przeprowadzeniu badań można sformułować następujący wniosek: planowanie architektury zorientowanej na usługi z wykorzystaniem elementów logiki rozmytej pozwala na badanie w systematyczny sposób lingwistycznych opisów dostarczanych przez ekspertów dziedzinowych. Ponadto przy zastosowaniu logiki rozmytej każdy czynnik mający potencjalnie wpływ na architekturę systemu może być oceniany nie tylko na podstawie swoich własnych cech, ale również na podstawie cech związanych z nim przez rozmyte wagi przyczynowe. Taka analiza umożliwia analitykowi widzenie całościowego (holistycznego) fragmentu rzeczywistości.

Literatura

[1] **Aguilar J.:** *A Survey about Fuzzy Cognitive Maps Papers*, International Journal of Computational Cognition, Vol. 3, No. 2, June 2005, s. 27-33.

[2] **Balder D.:** *Fuzzy Cognitive Maps and their uses as Knowledge Mapping Systems and Decision Support Systems*, University of Amsterdam, Faculty of Science, Technical Report, 2004.

[3] **Carlsson C., Fuller R.:** *Adaptive Fuzzy Cognitive Maps for Hyperknowledge Representation in Strategy Formation Process*, Technical Report, Abo Akademi University, Finland, 1996.

[4] **Carvalho J., Tomé J.:** *Rule Based Fuzzy Cognitive Maps and Fuzzy Cognitive*, 18th International Conference of the North American, Jul 1999, s. 115-119.

[5] **Clements P., Kazman R., Klein M.:** *Architektura oprogramowania. Metody oceny oraz analiza przypadków*, Helion, Warszawa 2003.

[6] **Guesgen H., Hertzberg J.:** *Algorithms for Buffering Fuzzy Maps*, Technical Report, Computer Science Department, University of Auckland, New Zealand, 2001.

[7] **Kardaras D., Mentzas G.:** *Using Fuzzy Cognitive Maps to Model and Analyse Business Performance Assessment*, Advanced in Industrial Engineering Applications and Practice, 2002, s. 63-68.

[8] **Khan M., Quaddus M., Intrapairot A. Chong A.:** *Modelling Data Warehouse Diffusion Using Fuzzy Cognitive Maps – A Comparison with the System Dynamics Approach*, Technical Report, Rajamangala Institute of Technology, Northern Campus, Chiang Mai 50300, Thailand, 2000.

[9] **Kopacz T.:** *Świat jako usługa*, Computerworld, 16 sierpnia 2004.

[10] **Leea S., Kimb B., Leec K.:** *Fuzzy cognitive map-based approach to evaluate EDI performance: a test of causal model*, Expert Systems with Applications 27, 2004.s. 287-299.

[11] **Rodriguez-Repiso L., Setchi R., Salmeron J.:** *Modelling IT projects success with Fuzzy Cognitive Maps*, Expert Systems with Applications, vol. 32 (2), 2006.

[12] **Sobczak A.:** *Analiza możliwości zastosowania zorientowanej na usługi architektury systemów informatycznych w polskiej administracji publicznej*, Raport z badań własnych zrealizowanych w Katedrze Informatyki Gospodarczej, Kolegium Analiz Ekonomicznych, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 2005.

[13] **Sobczak A.:** *Planowanie zorientowanej na usługi architektury systemów informatycznych z zastosowaniem rozmytych map kognitywnych*, Raport z badań własnych zrealizowanych w Katedrze Informatyki Gospodarczej, Kolegium Analiz Ekonomicznych, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 2006.

[14] **Stylios C., Groumpos P.:** *Modeling Complex Systems Using Fuzzy Cognitive Maps*, IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics – Part A: Systems And Humans, vol. 34, no. 1, January 2004, s. 155-162

[15] **Vouros G., Panayiotopoulos T.:** *Fuzzy Causal Maps in Business Modeling and Performance-Driven Process Re-engineering*, SETN 2004, LNAI 3025, Springer-Verlag, 2004, s. 331-341.

[16] **Xirogiannis G., Glykas M.:** *Fuzzy Cognitive Maps in Business Analysis and Performance-Driven Change*, 334 IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 51, no. 3, August 2004, s. 334-351.